

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-101363

(43) 公開日 平成8年(1996)4月16日

(51) IntCl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/11	5 0 5			
	1/035			
H 0 1 S 3/18				

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平7-193162

(22) 出願日 平成7年(1995)7月28日

(31) 優先権主張番号 2 8 3 4 5 5

(32) 優先日 1994年8月1日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 590000400

ヒューレット・パッカード・カンパニー
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル
ト ハノーバー・ストリート 3000

(72) 発明者 ルイス・ビー・アーロンソン

アメリカ合衆国カリフォルニア州94024ロ
ス・アルトス, マナー・ウエイ・794

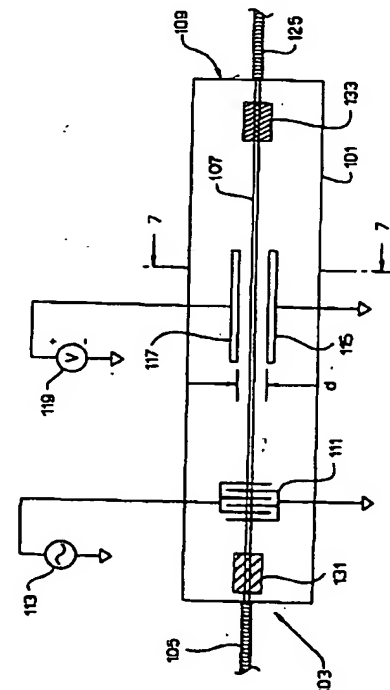
(74) 代理人 弁理士 古谷 馨 (外2名)

(54) 【発明の名称】 制御可能な複屈折音響-光学的同調可能フィルタ、及びそれにより同調されるレーザ

(57) 【要約】

【課題】従来の音響-光学同調可能フィルタ (AOTF) は、不必要なサイドロープの存在、導波路の温度、物理的変動により、周波数応答が悪く、安定性に欠けていた。

【解決手段】AOTFは導波路の対向側に一对の電極を有し、電圧源が電極間に電位を印加し、導波路を通して電界を生成する。電界は、導波路の複屈折を変更して、導波路の光学的性質を制御する。電圧源による印加電位を適切に調節して、サイドロープ抑制、非対称サイドロープ補正、及び導波路の物理的変動補償がされる。電極に印加される同調電圧により、AOTFを非常に急速に同調させ得る。サーミスタと組み合わせると、制御電圧は温度変化を補償し得る。異なる電位で一对の電極を使用、又は電極として抵抗性素子を使用、或いは所望電界に応じて電極を成形して、空間的に変化する電界が発生される。急速に変化する制御電圧がフィルタの光ビームを変調し得る。AOTFには外部空洞同調可能レーザの同調素子としての用途がある。



【特許請求の範囲】

【請求項1】音響－光学同調可能フィルタにおいて、到来光ビームを受けるために適合される、複屈折音響－光学材料の基台と、

電気信号に応答して基台に音波を誘導する変換器であって、音波は、基台を通して伝播し、音波の周波数により規定される光学的周波数帯域内の周波数を有する如何なる光の偏りモードをも変えるように、但し、前記光学的周波数帯域外の周波数を有する如何なる光の偏りモードをも変えないように動作可能である、変換器と、

音響－光学材料の複屈折を調節することにより、基台の光学的性質を制御する制御手段と、

からなる音響－光学同調可能フィルタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般に光学装置に関するものであり、更に詳細には、外部発生電界を使用して複屈折を制御し、フィルタの性質を変える、音響－光学同調可能フィルタ、及びかかるフィルタにより同調されるレーザに関する。

【0002】

【従来の技術】理論的に理想の帯域通過フィルタは、所望周波数帯域内の周波数を有する任意のエネルギーを通過させ、所望帯域外の周波数を有する任意のエネルギーを阻止する。同様に、理想的ノッチフィルタは、指定帯域内の周波数を有するすべてのエネルギーを阻止し、他のすべてのエネルギーを通過させる。理想的帯域通過フィルタの応答曲線を図1に示し、理想的ノッチフィルタの応答曲線を図2に示す。日常的に言えば、理想的帯域通過フィルタの一例は、ラジオを完全な忠実度で所望放送局を受信するように同調させるが、隣接する周波数帯域のはるかに強いものさえ、すべての他の放送局を完全に受け入れない同調回路である。光の範囲では、理想的フィルタは、例えば、赤色光を完全な明るさで通過させ、一方すべての他の色の光を完全に阻止する。

【0003】多くの理由で、理論的に理想のフィルタを実際に達成することはできない。良好な、実際に実現し得るフィルタは、一般に所望通過帯域にわたって本質的に平坦で、通過帯域外で周波数が増大するか減少するかに伴って、滑らかに降下する応答を備えているフィルタであると考えられている。良好な、実現し得る帯域通過フィルタの応答曲線を図3に示す。

【0004】音響－光学同調可能フィルタ（“AOTF”）は、電子的に同調させ得る光学的帯域通過フィルタである。大容積AOTF、すなわち、大容積結晶で製作され、大量の音波、及びガイドされない光ビームを使用するAOTFは、レーザおよび光学システムですでに多数の用途を見いだしている。集積AOTF、すなわち、光を導波路に閉じこめ、表面弾性波を使用するAOTFも又、特に最近の電気通信用途に使用されているよ

うな、レーザおよびファイバ光学システムで、重要な用途を見いだすことが期待されている。集積AOTFの構造および動作を次に図4を参照して説明することにする。

【0005】集積AOTFは、ニオブ酸リチウム（LiNbO₃）のような細長い結晶体基板11に製作される。光導波路13が、基板の上表面に、例えば、チタンの拡散により形成される。光ビームが、導波路13の第1の末端15に、入力光ファイバ17を介して結合される。光は導波路を通して伝播し、出力光ファイバ19を通して出る。表面弾性波が、交差指型変換器21により導波路内に誘起される。変換器は外部発生電気信号により駆動され、音波の周波数は電気信号の周波数によって決定される。

【0006】音波は導波路に回折格子を誘起し、これが今度は光ビームを回折する。格子は光の横電気偏りモードおよび横磁気偏りモードを結合するが、光波長の狭帯域内だけである。従って、この狭帯域内では、一つの偏りモードで伝播するすべての光は直交モードに変換されるが、この帯域の外では光の偏りモードは影響を受けない。

【0007】導波路の第1の末端に隣接するTE通過偏光子23は、第1の偏りモードでないいかなる到来光をも阻止する。従って、第1のモードで偏光された光だけがフィルタに受け入れられる。光が導波路を通して進行するにつれて、光波長の前記狭帯域内にある波長を有する任意の光の偏りモードは、第1のモードに直交する第2のモードに変換される。残りの光の偏りは影響を受けない。偏光子23と反対のTM通過偏光子25は、出力から第2の偏りモードにない光をすべて阻止する。従って、フィルタを通過している間に変換された偏りモードを有する光だけがフィルタを出ることができる。出力の行き先は図示していないが、出力光は結局ユーザに、又は或る形式の光学装置に供給されることが理解されよう。

【0008】前述からAOTFは、音波により決定された帯域内の波長を有する光を通し、他の光を阻止することがわかる。従って、AOTFは帯域通過フィルタとして働く。通過帯域の中心周波数は、変換器を駆動する電気信号の周波数を変えることにより同調させることができる。フィルタを、偏光子25を偏光子23と同じ形式の偏光子に変えることにより、「ノッチ」フィルタに変換することができる。

【0009】偏光子23および25を、基板11に一体に形成されているとして図示してある。しかし、これら偏光子の一方または双方を、別々の素子として製作し、基板11から遠く離してそれぞれ入力光路および出力光路に配置することができる。事実、入力光が既に偏光されていれば、偏光子23を完全に省略することができ、出力光を受けるユーザまたは光学装置が偏りモードを区別することができる。偏光子25を省略することができる。

【0010】光が導波路を通過し、音波により回折され

るにつれて、光の周波数は、音波により誘起された格子が導波路に対して運動しているため、ドップラーシフトされる。必要なら、このドップラーシフトは、光を第2のAOTFを通過させることにより打ち消すことができる。二つの物理的に別々のAOTFを使用することができるが、二つのAOTF段を導波路13の二つの隣接する区画27および29に製作するのが有利であることが多い。

このような構成では、変換器21により発生された音波は、吸音器31および33により、第1の導波路区画27に閉じこめられる。吸音器は、蝸または他の便宜な材料で作ることができる。第2の変換器35は、第2の導波路区画29に第2の音波を発生する。この第2の音波は、吸音器37および39により第2の導波路区画に閉じこめられる。

【0011】第3の偏光子41は、第1の偏光子23と同様であるが、第2の導波路区画29の出力端に配置されている。三つの偏光子がすべて同じ形式であれば、2段ノッチフィルタが形成される。偏光子25が、偏光子23および偏光子41により通される光に直交して偏光される光だけを通してれば、2段帯域フィルタが形成される。

【0012】二つの変換器を有する構成を図示してあるが、導波路の両区画に音波を発生するのに、変換器を一つだけ使用するのが好ましいことがある。このような構成では、二つの区画27と29との間に存在する吸音器33および37は、省略される。単一の変換器は、導波路の両区画を通じて波を発生し、変換器は導波路に沿う任意の適宜な点に配置することができる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】残念ながらAOTFの周波数応答は、図3に示すように良好な帯域通過フィルタの周波数応答とは異なる。代わりに、AOTFの周波数応答は不必要なサイドローブにより特徴づけられている。理論でさえも、Harris 他による、Journal of the Optical Society of America, vol. 59, p. 744 (1969) に説明されているように、基本的な単一段AOTFから予想することができる最良の性能で、サイドローブは中心周波数より多くても10デシベル(“dB”)低いだけである。実際は、単一段AOTFのサイドローブは、中心周波数以下10dBよりはるかに少ないことがしばしばである。更に悪いことに、サイドローブは非対称である。非対称サイドローブを示す、典型的なAOTFの応答曲線を図5に与える。

【0014】これら不必要なサイドローブを減らす各種方法が提案されており、例を挙げればこれら提案の幾つかは、Kar-Roy 他、IEEE Photonics Technology Letters, vol. 4, page 1132 (1992); Smith 他、Integrated Photonics Research, 1992年OSA Technical Digest Series (Optical Society of America, Washington)のVol. 10, pp 88-89; Herrmann 他、Electronics Letters Vol. 28, page 979 (1992); およびHerrmann 他、Electronics Letters

Vol. 28, p. 642 (1992) に説明されている。

【0015】非対称サイドローブが生ずる理由の説明、及びそれらを排除するための提案は、Trutna 他、*“Anomalous Sidelobes and Birefringence Apodization in Acousto-Optic Tunable Filters”*, Optics Letters, Vol. 18, No. 1, January 1, 1993 に見いだすことができる。簡単に述べれば、Trutna 他は、不必要なサイドローブは導波路中の複屈折の非一様性から生ずることを示した。この非一様性には、熱勾配、導波路幅の変動、チタンの厚さの変動、およびLiNbO₃基板の非均質性、を含む幾つかの原因がある。Trutna 他はまた、これらの変動を故意に利用して、2区画AOTFのサイドローブを減らす方法も示した。

【0016】集積AOTFは、同調可能レーザを作る際に、特に重要な用途を見いだすと期待されている。幾つかの種類のレーザを同調させる種々の方法が知られているが、これらすべての方法は、応答が鈍いこと、機械的複雑さ、経時ドリフト、および比較的高いコスト、のような欠点を被る。集積AOTFは、そのフィルタ機能特性を改善すれば、多数のこれら欠点を克服する可能性を示している。

【0017】前述に鑑み、これら装置から理論的に得ることができる利点を実現することができるように、AOTFのフィルタ機能特性を改善する方法に対する必要性が存在することがわかるであろう。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明は、印加電界がフィルタの複屈折を制御して、フィルタ機能を大幅に改善し、中心周波数の範囲を横断してフィルタを電気的に同調させることを可能にする、音響-光学同調可能フィルタ(“AOTF”)を提供する。このようなAOTFを組み込んだチューナブルレーザをも提供する。

【0019】手短に且つ一般的に言えば、本発明を具体化するAOTFには、音響-光学材料から作られた基台、音響-光学材料の複屈折を制御する制御手段、及び基台内に音波を誘起する変換器を備えている。動作中、濾波すべき入力光ビームは基台の一端に案内される。音波は、光が音波の周波数、及び基台の光学的性質により規定される、光学的周波数帯域内の周波数を備えていれば、この入力光の偏りモードを変更する。任意の他の周波数を有する光の偏りモードは影響を受けない。制御手段には、基台に隣接する複数の電極、および電極を横切って電位を確立する電圧源が含まれる。この電位は、結果として基台を通じて広がる電界となる。電界は、音響-光学材料の複屈折を変え、それにより基台の光学的性質を変える。これは次に、光が基台を通して進行する際、光が影響される仕方を制御する。

【0020】入力および出力偏光子は、光入力ビームが、入力偏光子を、次に基台を、次に出力偏光子を通して、基台のいずれかの端部に設置される。一つ

5

の実施例において、両偏光子は、第1のモードで偏光された光を通過させ、第2のモードで偏光された光を減衰させる。第1のモードで偏光された光だけが基台に受け入れられる。音波の周波数、および基台の光学的性質により規定される、周波数帯域内の周波数を有する光はすべて、第2の偏りモード変換されるが、この周波数帯域外の光は影響されない。出力偏光子は、第2の偏りモードにあるすべての光を阻止するので、規定周波数帯域外の光だけがフィルタの出力まで通過する。従って、偏光子のこの構成は、規定周波数帯域内の光を減衰するノッチフィルタを規定することがわかる。

【0021】他の実施例において、入力偏光子は、第1のモードで偏光される光を通し、出力偏光子は、第1のモードに直交する第2のモードで偏光される光を通す。この構成は、規定周波数帯域外の光を減衰する帯域通過フィルタを規定する。

【0022】本発明は好適には、導波路が、チタンのストリップをニオブ酸リチウム結晶の表面に拡散させることにより形成される、種類の集積AOTFで具体化される。入力および出力偏光子は、結晶内に一体に形成することができ、または入力および出力光路の適宜な点に離して配置することができる。入力光が既に偏光され、または光の最終受け入れ先が、異なる偏りモードの間で区別することができれば、それらの一方または双方を全く省略することができる。

【0023】電極に印加される電圧は、必要に応じて調節され、AOTFの幾つかの属性の一つ以上を制御する。或る目的ではDC電圧が使用される。この電圧は、結晶構造の製造欠陥を補償するように調節される。他の実施例において、電圧は、温度ドリフト、または他の環境効果を補償する。例えば、温度検知素子を使用して、構造の温度に従って電圧を制御し、それにより温度変化の結果としてのフィルタ中心波長のいかなるドリフトをも最小にすることができる。

【0024】電圧はまた、フィルタを所望周波数帯域に同調させるために、又は構造を通過する光ビームを変調するために使用することができる。

【0025】構造に沿う異なる場所で、異なる強さの電界を設けるのが望ましいことがある。これは、例えば、電極として抵抗性素子を使用し、または特殊形状の電極を使用することにより、幾つかの電極対を使用し、異なる電位を各対に印加することにより行なわれる。

【0026】二つの隣接するAOTFは、各区画がフィルタ段を規定する、導波路の第1の区画と第2の区画との間に中央部偏光子を配置することにより、単一基板上に直列に構成することができる。勿論、更に多数の中央部偏光子を使用して、導波路を必要に応じて更に多数の区画に分割することにより、3フィルタ段以上を形成することができる。

【0027】本発明の原理を具体化する2段AOTFは

6

幾つかの長所を示す。一つの実施例において、第2段は単に第1段により誘導された、任意のドップラーシフトを補償するだけに使用される。他の実施例において、一方の段に印加される電圧は、通過帯域の中心周波数の一方の側のサイドローブを抑制するよう調節され、他方のAOTFに印加される電圧は、中心周波数の他方の側のサイドローブを抑制するよう調節され、このようにして、通過帯域の両側でサイドローブが大幅に減衰している2段帯域通過フィルタが得られる。

【0028】2段AOTFの他の実施例において、電圧源は、変調信号を受け、第1段を一方方向に、第2段を反対方向に離調させる電位を印加することにより光ビームを変調する。更に他の実施例において、各段に印加される電圧は、その段を同じ光学的周波数に同調させるように調節され、フィルタ段を互いに対して離調させているかもしれない如何なる因子をも相殺する。

【0029】本発明は、AOTFを制御する方法を提供する。方法には、電界を発生するステップと、電界をAOTFを横切って印加するステップと、電界強度を制御して導波路の光学的透過パラメータを修正するステップと、が含まれる。一つの実施例において、方法には、フィルタの温度を一つ以上の場所で検知するステップと、このような各場所に電界を印加して、温度変化の如何なる悪影響をも補償するステップと、が含まれる。

【0030】本発明による帯域通過AOTFは、外部空洞レーザの光路に有利に備えられて、AOTFの複屈折を制御する電圧の変化にตอบสนองして、周波数を非常に急速に変える能力により特徴づけられる、電子的同調可能レーザが提供される。

【0031】本発明の他の態様、及び利点は、例を用いて本発明の原理を例示する、添付図面と関連して行なう、以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

【0032】

【発明の実施の形態】本発明は、フィルタが製作される音響-光学材料の複屈折を調節することにより、フィルタの光学的性質を制御するために、電界を使用する音響-光学同調可能フィルタ（“AOTF”）を提供する。AOTFの光学的性質を制御して、それによりそのフィルタ機能を改善する方法に対する必要性が存在している。また、AOTFを電子的に同調させる更に良い方法に対する必要性も存在している。現存する手法は適当ではない。

【0033】本発明によるAOTFは、導波路のいずれかの側に電極を、および電極を横断して電界を発生する電位を印加する電圧源を備えている。このようなAOTFは、大いに改善された性能を示す。2段帯域通過フィルタの複屈折を変えるのに電界を使用することにより、通過帯域の中心でピーク応答より18.6dB以上低くまでサイドローブを減らすことができる。電圧源は、製造欠陥または環境効果を補償する電位を与えるように調節可

能である。AOTFは、電圧を変化させることにより、非常に急速に同調させることができる。AOTFを通過する光ビームは、電極を横断して変調信号を加えることにより変調することができる。本発明は、電子的同調可能レーザの同調素子に用途を見いだしている。

【0034】次に図6を参照すると、本発明によるAOTFが、音響-光学材料の基台101に製作されている。基台には、例えば入力光ファイバ105から、到来光ビームを受けるように適合される第1の末端103がある。この実施例は、導波路107が基台101の上部面に形成され、基台の第1の末端103から第2の末端109まで伸張する集積装置として例示してあるが、本発明の原理は又、バルク装置、すなわち、導波路なしでバルク結晶に製造されるAOTFにも適用できることが明らかであろう。例示したような集積AOTFは、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) のような結晶材料から好適に製造され、導波路107は、チタンまたは他の適切な材料の拡散により形成される。

【0035】変換器111は、電気信号に応答して基台に音波を誘導する。電気信号は外部電圧源113により供給される。音波の周波数、及び基台の光学的性質は、光学的周波数帯域を規定する。導波路では、音波は規定の光学的周波数帯域内の周波数を有する任意の光の偏りモードを変える。しかし、この光学的周波数帯域外の周波数を有する光の偏りモードは何ら影響を受けない。

【0036】基台が製作される音響-光学材料の複屈折を調節することにより、基台の光学的性質を制御する制御手段が設けられている。好適には制御手段は、基台に隣接する複数の電極115と117、および電極と電気的に連絡している電圧源119からなる。電圧源は、電極を横断する電位を確立し、それにより導波路を通じて広がる電界を発生する。

【0037】図6に示す実施例では、電極115および117は、図7に最も良く示すように、基台の上部表面に、導波路と平行に、その対向側に配置されている。電極117は、電圧源119の正端子に接続され、電極115は、電圧源119の負端子に接続されている。矢印121は、電極117から導波路を通して電極115まで広がる電界を表している。

【0038】図8に断面図で示す他の実施例では、電極123は、導波路の最上部に配置され、二つの他の電極125および127は、基台の上部表面に導波路のいずれかの側に配置されている。電極123は、電圧源の正端子に接続され、電極125および127は、負端子に接続されている。矢印129は、電極123から導波路を通して電極125および127まで広がる電界を表している。

【0039】一つの実施例において、入力および出力偏光子131および133は、光入力ビームが入力偏光子131を、次に導波路107を、および次に出力偏光子133を通過するように、基台の対向末端103および109に隣接して設

置されており、入力偏光子および出力偏光子は共に、第1のモードで偏光される光を通過させ、第2のモードで偏光される光を減衰させる。この構成は、規定の光学的周波数帯域外の周波数を有する光を通過させ、その帯域内の周波数を有する光を減衰する、ノッチフィルタを規定する。

【0040】帯域通過フィルタは、出力偏光子133が、第2のモードで偏光される光を通過させ、第1のモードで偏光される光を減衰させる以外は、ノッチフィルタと同じ仕方で形成される。このフィルタは、規定の光学的周波数帯域内の周波数を有する光を通過させ、その周波数帯域外の周波数を有する光を減衰させる。

【0041】このようにこれまで説明した実施例は、すべて1段光学フィルタである。このようなフィルタでは、導波路内での光ビームと音波との間の相互作用は、光ビームの周波数をドップラーシフトさせるという効果を持っている。第2の光学フィルタ段を追加して、このドップラーシフトを逆にすることができる。直列に接続された二つの別々のAOTFは、2段フィルタの第1段および第2段として働くことができるが、両段を単一基板に製造するのが更に良いことがしばしばある。このような2段フィルタを図9に示す。

【0042】2段フィルタは、 LiNbO_3 または他の適切な材料の細長い基板135に製造される。導波路137は、チタンまたは他の適切な材料の拡散により、基板の上部表面に形成される。導波路は、基板の第1の末端139から第2の末端141まで広がっている。光入力ビームは、入力光ファイバ143を通して第1の末端で受け取られる。光は導波路を通過して第2の先端まで伝わり、そこで出力光ファイバ145に結合する。

【0043】第1のAOTF段、概ね147には、第1の変換器149、及び導波路に隣接する第1の複数の電極151および153が含まれる。これら構成要素は、図6に示すように、変換器111、電極115および117と概ね同様である。変換器は、図6の電圧源113と同様の外部信号源（図示せず）により駆動される。図6の電圧源119と同様の電圧源（図示せず）が、電極151および153に接続されて、フィルタの第1段に導波路を通る電界を発生する。

【0044】第2のAOTF段、概ね155には、第2の変換器157、及び導波路に隣接する第2の複数の電極159および161が含まれる。第2の変換器は、第1の変換器149を駆動するのに使用したのと同じ信号源、または適宜に使用可能な別の信号源といった、外部信号源（図示せず）により駆動される。第1段に使用される同じ電圧源、または別の電圧源のどちらかが、便宜に応じて、電極159および161に接続され、第2段の導波路を通じて電界を発生させる。

【0045】中央部偏光子163を第1段と第2段との間に配置することができる。この偏光子は、第1のモード

で偏光された光を通過させ、第2のモードで偏光された光を減衰させる。

【0046】2段帯域通過フィルタが所望であれば、入力および出力偏光子165および167が、それぞれ第1および第2の末端139および141に隣接して配置される。入力および出力偏光子は共に、第2のモードで偏光された光を通過させ、第1のモードで偏光された光を減衰させる。偏光子は、図示した実施例のように、基板内に完全に形成することができ、またはそれらを入力光路および出力光路の或る便宜の点に配置することができる。三つの偏光子163、165、および167のすべてを、同じモードで偏光された光を通過させるように構成することにより、2段ノッチフィルタを形成することができる。

【0047】或る実施例では、導波路の第1段の部分にある第1の変換器149により発生される音波を、導波路の第2段の部分にある第2の変換器157により発生される音波から分離することが望ましいことがある。これは、一つ以上の吸音器を用いて行なわれる。例示した実施例では、第1段147は、一对の吸音器169と171との間に配置され、第2段155は、第2の対の吸音器173と175との間に配置される。吸音器は、蝋または或る他の適切な材料で作ることができる。

【0048】2段AOTFの利点は、異なる光学的性質を各段で制御することができることである。例えば、帯域通過フィルタでは、第1の複数の電極151および153に印加される電位が、通過帯域の一方の側のサイドローブを減衰し、第2の複数の電極159および161に印加される電位が、通過帯域の他方の側のサイドローブを減衰するように調節されることができる。その結果、通過帯域の両側で良好なサイドローブ除去を行なう2段フィルタが得られる。

【0049】他の実施例では、各段に印加される電位は、その段を所望の光学的周波数の方向に同調するように調節され、それにより二つの段を同じ光学的周波数帯域に整列させている。

【0050】2段AOTFは、光ビームを変調するのに使用可能である。変調信号が、外部源（図示せず）により供給され、AOTFの両段にある電極に加えられる。第1の複数の電極151および153に加えられる変調信号は、フィルタを一方に離調するようにバイアスされている。同様に、第2の複数の電極159および161に加えられる変調信号は、フィルタを反対方向に離調するようにバイアスされている。その結果、変調信号により担持される情報で変調された光出力ビームが得られる。

【0051】多数の用途に対して、基台に沿って長手方向に一樣な電界が適切である。このような電界は、導波路に平行に設置され、図6および図7に示すように、一定距離“d”だけ互いに離して設けられ、図6から図9までに示すような、電極によりもたらされる。他の用途に対しては、空間的に変動する電界が好適である。この

ような電界を発生することができる一つの方法は、電極の一つを、例えば、図6の電極117を、電極115とは導波路の反対の側に配列された一組の副電極177、179、および181で置き換えることによる。この構成を図10に示してある。各副電極は、導波路の他の電極とは異なる部分に隣接して配置されている。異なる電位が各副電極に印加され、導波路の異なる部分を通じて異なる強さの電界を発生する。

【0052】図10に示す構成は、基台に沿って長手方向に不連続な増加量で変化する電界をもたらす。基台に沿って滑らかに変化する電界は、図11に示すように、電極の一つに対して抵抗素子183を使用することにより、もたらされ得る。抵抗素子を横断して印加される電圧は、電極の一端から他端まで滑らかに広がる電圧降下をもたらす、基台を通じて連続して空間的に変化する電界を生ずる。

【0053】滑らかに空間的に変化する電界は又、電極を、それらの一つが他から長手方向に変化する間隔で離れているように、構成することによっても得ることができる。この一例を図12に示してある。各々が導波路189の方に凸に曲がる、第1の対の電極185および187は、2段AOTFの第1のフィルタ段191に長手方向に変化する電界を発生するのに使用される。電界は電極の中心の近くでより強く、電極の末端に向かってより弱くなっている。必要に応じて、他の電界強度プロファイルを得るために、他の形状を使用することができる。例えば、第2のフィルタ段193で、各々が導波路の方に凹に曲がる、第2の対の電極195および197を使用して、電極の中心でより弱く、電極の末端に向かってより強くなる電界が発生される。

【0054】電極の各種構成を使用することに加えて、各種電界を発生するのに異なる電位を使用することもできる。例えば、図6に示すような電圧源119を調節して、基台の導波路領域の製造欠陥による、フィルタ性能の如何なる低下をも補償するのに丁度十分な、複屈折を変化させる電界を発生することができる。または電圧源を調節して、環境効果によるフィルタ性能の如何なる低下をも補償する電位を発生することができる。例えば、図13に示すように、サーミスタ199が、AOTFの基台201の温度を検知し、制御可能電圧源203に、一对の電極205および207を横断して適切な電圧を印加させ、温度変化の如何なる悪影響をも相殺するように、複屈折を調節する電界を発生させる。非常に精密な温度補償に対して、AOTFの異なる区画に異なる電界を使用することができる。例えば、図13に示す実施例では、構成要素199、203、205、および207を使用して、AOTFの第1の区画209での温度変化を補償している。第2のサーミスタ211、第2の制御可能電圧源213、および第2の対の電極215と217を使用して、AOTFの第2の区画219での温度変化を補償している。

11

【0055】他の実施例では、同調信号が、電圧源を制御してAOTFを所望の中心周波数に同調させている。従来技術によるAOTFが、変換器を駆動する信号の周波数を変えることにより同調され得ることが知られている。変換器周波数を変えることにより、AOTFは、比較的広い範囲の周波数にわたり同調させることができるが、変換器駆動周波数が変化した後、AOTFが、変化した中心周波数に定着するまで有限の遅れが存在する。本発明の原理を適用し、電極を横断する電圧を変えることによりAOTFを同調させれば、AOTFは、狭い周波数範囲にわたってではあるが、慣用的な仕方による同調よりはるかに速く同調する。本発明の原理に従って同調可能なAOTFを図14に示すが、この図では電圧源221が、同調信号に定着して、電極223および225を横断して同調電位を印加している。

【0056】更に他の実施例では、図15に示すように、電圧源227は、典型的には増幅器であるが、変調信号に定着して、一対の電極229および231を横断して交流電位を発生し、それにより導波路233を通して進行する光を、変調信号により担持される情報で変調する。

【0057】本発明の原理を具体化するAOTFは、光学分野を通じて多数の用途を見いだしている。これら用途の内最も重要な一つは、同調可能レーザの同調素子としてである。このような同調可能レーザの一例を図16に示してある。概ね235で示してあるAOTFはこのレーザに含まれている。AOTF235は、図9に示す2段AOTFと同様であり、便宜上図9の構成要素と同じ図16の構成要素には同じ参照番号を割り当ててあり、これ以上説明しないことにする。上記し且つ例示した各*

$$dA_1/dz = -i\kappa A_2 e^{i\Delta\beta z}$$

)

$$dA_2/dz = -i\kappa^* A_1 e^{-i\Delta\beta z}$$

)

ここで、 A_1 および A_2 はそれぞれ、TEモードおよびTMモードの振幅を表し、 κ は、SAW振幅に比例する結合係数であり、 $\Delta\beta$ は、次の方程式により規定される位*

$$\Delta\beta = 2\pi\Delta n/\lambda - 2\pi f_s/v_s$$

ここで、 Δn は、有効2モード複屈折（これは結晶複屈折にほぼ等しい）であり、 f_s は音の周波数であり、 v_s は音速である。

【0063】モード間の最適結合は、 $\Delta\beta=0$ のとき、または等価的に $f_s=v_s\Delta n/\lambda$ のとき生ずる。この関係は、所定の駆動周波数 f_s に対する光学中心周波数 λ ★

$$P_1(z) = [\kappa^2/(\kappa^2 + \Delta\beta^2/4)] \sin^2((\kappa^2 + \Delta\beta^2/4)^{1/2}z) \quad (3)$$

で与えられる。100%変換効率は $\Delta\beta=0$ で $\kappa z=\pi/2$ のとき生ずる。

【0065】AOTFは、X-切断Y-伝播LiNbO₃基板の上に製造され、これに対する $v_s=3750\text{m/sec}$ 、 $\Delta n=0.07329$ である。このフィルタは、RF駆動周波数が209MHzであるとき、通過帯域波長1315nmを備えて

12

*種の他のAOTFの実施例は、AOTF235の代わりに、図16に示すレーザに使用することができることは明らかである。

【0058】AOTF235に加えて、同調可能レーザには、光信号を増幅する光増幅器237、光増幅器に電力を供給する電源239、および光ビームを増幅器からAOTFの第1の末端139まで、およびAOTFの第2の末端141から逆に増幅器まで案内する光路を規定する光ガイド手段、が含まれる。ガイド手段はまた、光ビームの一部を出力レーザビームとしてもたらす。例示した実施例では、ガイド手段は、増幅器からの光ビーム243を受けるビームスプリッタ241を含み、光ビームの第1の部分245を出力ビームとしてもたらし、光ビームの第2の部分247を、AOTFの第1の末端139の方向に反射するミラー249に案内する。他のミラー251は、AOTFの第2の末端141からの光ビームを、第3のミラー253の方向に反射し、次にミラー253はそれを増幅器の方向に逆に反射する。

【0059】AOTFは、レーザを電極に印加される電位に従って、比較的狭いバンドスプレッドにわたり非常に急速に、または音波の周波数に従って、広いバンドスプレッドにわたり比較的ゆっくり同調させるか、またはその双方を、必要に応じて行なう。

【0060】本発明の原理の更に詳細な説明を次に行なう。光導波路で、定在音波（“SAW”）の存在時に、距離 z を通して伝播した後、結合するTEモードおよびTMモードは、次の対の連立微分方程式により記述される。

【0061】

(1 a)

(1 b)

※相不整合係数である。

【0062】

(2)

★を決定する。

【0064】 Δn が伝播距離 z に無関係である限り、これは普通の仮定であるが、方程式(1 a)および(1 b)は、容易に解くことができる一対の1次微分方程式である。初期条件 $A_1(0)=0$ および $A_2(0)=1$ により、変換効率 $P_1(z)=A_1 A_1^*$ は、

$$P_1(z) = [\kappa^2/(\kappa^2 + \Delta\beta^2/4)] \sin^2((\kappa^2 + \Delta\beta^2/4)^{1/2}z) \quad (3)$$

いる。ほぼ100%の変換効率は、相互作用長17mmにおいて、RF駆動電力100mWに対して達成される。これらパラメータを使用すれば、2MHzスパンに亘る f_s から離調する周波数に対する変換効率は、図5に示すように非対称サイドローブを生ずる。サイドローブは10dB未満しか低くない。これらサイドローブは、フィルタ段を縦

13

続接続することにより、または上述のように、AOTFの長さに沿う音響結合を変えることにより減らすことができるが、これらの試みは満足ではなかった。実際のサイドローブは、導波路内の複屈折が一樣でないため、理論的に予測されるものより常にはるかに高かった。これは、熱勾配、導波路を作るのに使用されるチタンストリップ

$$\delta \Delta n = \delta \Delta n_{TE} - \delta \Delta n_{TM} \approx 1/2 (n_e^3 r_{33} - n_o^3 r_{13}) \Gamma V/d \quad (4)$$

で与えられる。ここで d は電極間の距離であり、 $\delta \Delta n_{TE}$ および $\delta \Delta n_{TM}$ はそれぞれ、TEモードおよびTMモードに対する有効指数の変動であり、 n_e および n_o は、LiNbO₃の異常指数および正常指数であり、 r_{33} および r_{13} は、LiNbO₃に対する電気-光学テンソルの要素で※

$$\delta \Delta n = 6.8 \times 10^{-5} V/d$$

ここで V はボルトであり、 d は μm である。LiNbO₃に対して、破壊するまで $100 kV/cm$ の電界強度が可能である。これは、 $\delta \Delta n_{max} \approx \pm 7 \times 10^{-4}$ の最大複屈折制御を生ずる。電極間隙 $d = 10 \mu m$ である場合、これには 100 ボルトの印加電圧が必要である。

【0068】約100ボルトの電圧により達成し得る複屈 ★

$$\partial \Delta n / \partial T = -3.7 \times 10^{-5} / ^\circ C$$

$$\partial \Delta n / \partial W = 5.3 \times 10^{-4} / \mu m$$

$$\partial \Delta n / \partial \tau = 3.3 \times 10^{-6} / \text{\AA}$$

ここで T 、 W 、および τ は、それぞれ、温度、チタンストリップの幅、および基板の厚さを表す。 $\pm 7 \times 10^{-4}$ の変化は、 $\pm 19^\circ C$ の温度変動、 $\pm 200 \text{\AA}$ のチタンストリップ厚さの変動、または $\pm 1.3 \mu m$ の導波路幅の変動に相当し、これらはすべて実際に発生すると思われる変動より大きい。

【0070】温度変化補償、および中心波長の不必要なシフトの補正のような用途に対して、図6および図9に示すような、平行長方形電極を使用することができる。導波路の長さに沿う変動を補正したいという状況に対しては、それぞれ、図10および図11に示すような、多区画電極または抵抗性電極を使用することができる。Trutna 他は、帯域通過中心周波数の一方の側、または他方の側のサイドローブを減衰させるのに使用することができる、特定の複屈折分布について説明している。図12に示す凸電極または凹電極のような湾曲電極は、Trutnaの手法を伝達関数の各側に適用することにより、サ ☆

$$\lambda_0 = (n_{TM} - n_{TE}) \Lambda = \Delta n \Lambda$$

で与えられる。ここで n_{TE} および n_{TM} はそれぞれ、TEモードおよびTMモードの有効指数であり、 Δn はそれ ◆

$$\lambda(Vr) = \lambda_0 + \delta \Delta n(Vr) \Lambda = \lambda_0 (1 + \delta \Delta n(Vr) / \Delta n) \quad (8)$$

に変わる。これにより電気-光学同調範囲は

$$\Delta \lambda = 2 \delta \Delta n_{max} \lambda_0 / \Delta n \quad (9)$$

で与えられることになる。ここで二つの係数は、正および負の印加電圧で可能な全範囲を示す。

【0073】上に記したように、発生し得る最大の複屈折変化は、 $\delta \Delta n \approx \pm 7 \times 10^{-4}$ である。音響-光学材料が $\Delta n = 0.072$ の複屈折を有する中心波長 $1550 nm$ の場

14

* ップの幅および厚さの変動、および導波路を横断する結晶の化学量論の変動のような因子のためである。

【0066】LiNbO₃基板内の複屈折は、電界により制御することができる。X-切断Y-伝播LiNbO₃基板の上に製造された、図4に例示したAOTFの場合には、印加電圧に伴う複屈折 $\delta \Delta n$ の変化は、

※ある。係数 Γ は、光学場と電界との間の重なりを表し、典型的幾何学に対して約0.65の値を取る。電極間の電界の非一様性から生ずることのある小さい誤差を無視する。材料の定数に数値を入れると、次式が得られる。

$$\text{【0067】} \quad (5)$$

★折補正の範囲は、実際に発生すると思われる導波路の温度および物理的変動の範囲を補償するのに適応している。温度の変動、チタンストリップの幅、および基板の厚さの変動の影響は、次のように表現される（1次まで）。

$$\text{【0069】} \quad (6a) \\ (6b) \\ (6c)$$

★イドローブ全体を下げるのに特に良く適している。

【0071】上に説明したように、本発明の原理は、AOTFを同調させる他に、温度および物理的変動を補償し、サイドローブを抑制するのにも適用することができる。慣用的AOTFにおいて、同調は、変換器の駆動周波数をシフトすることにより行なわれる。AOTFの周波数を駆動周波数のこのようなシフトに応答して変えることができる速度は、SAWが導波路の長さに沿って進行するのにかかる時間によって制限される。図9に示すような典型的2段AOTFでは、1段での導波路の長さは約17mmで、SAWの音速は約3660m/secであり、4.6 μ secの遷移時間を生ずる。従って、AOTFが周波数を変えることができる最大の速さは、毎秒100,000回であり、これは、同調要素としてAOTFを使用するレーザの最大同調速度を決定する。

【0072】AOTF通過帯域の中心波長は、複屈折の他に駆動音周波数の関数である。この中心周波数は、 (7)

◆らの指数間の差であり、 Λ はSAWの波長である。電圧を印加すると、フィルタの中心波長は、

$$(8)$$

$$(9)$$

合、これは約30nmの同調範囲に対応する。この同調範囲は、音響周波数同調により得ることができる150nmよりはるかに小さいが、はるかに高速であるという利点を持っている。事実、100MHzより大きい同調速度が容易に達成される。1GHzを超える同調速度が可能であるが、

この速度で高電圧を発生するのが困難なため同調範囲は更に制限される。

【0074】前述の試験は単一区画AOTFで行なわれた。相互作用の長さは50mmであった。幅が5.6、および7μmの導波路をチタン拡散により形成した。チタンの厚さは1075Åであり、湿潤O₂の中で1050℃で6時間拡散させた。装置には偏光子を組み込まなかった。単一および3区画の双方の複屈折制御電極を含めた。電極間隙を約12μm、金属幅を20μmとした。SAW変換器は、10対の分割指の交差指型設計とした。電極は約1.55μmの光学中心波長を生ずる、20μmの音響中心波長に対して設計してある。開口は約2.1mmであった。

【0075】フィルタを、Fujikura "PANDA" 偏光保存ファイバを有するチップに結合された1.55μm波長DFBで試験した。TMモードは、おそらくは同調電極の金属積載のため、非常に損失が多い(約4dB/cm)ことがわかった。従って、TE光を装置に結合した。出力をTE通過偏光子を通して観察した。このようにして、ノッチ型フィルタの応答を位相整合した音響周波数で観察した。TM損失は、電極間隙を増大することにより、又は電極の下に誘電バッファ層を追加することにより避けることができる。これは同調範囲を制限しないが、結果として所定同調効果に対して更に大きい電圧範囲となる。

【0076】図17は、単一区画同調電極を有する装置のフィルタ応答を示す。データは、電極に印加されるDC電圧の範囲について、音響周波数に対してプロットした透過率である(これは光学周波数に対する透過率と同等である)。図18は、同調電圧に対してプロットしたピーク変換の周波数測定値である。このデータから、0.103mm/Vの同調感度が計算される。SAW速度3750m/secを仮定すれば、ゼロ電圧での複屈折約0.071が得られる。これは重なり係数 $\Gamma = 0.56$ を示すことになる。

【0077】この同調手法の速度を測定するため、装置をフィルタ応答の約50%透過点に相当する音響周波数に設定した。次に電気変調を同調電極に加え、得られる出力信号の変調をヒューレット・パッカード71400光波信号アナライザで測定した。応答は約150MHzまで平坦で、その後のロールオフを伴っていることがわかった。この速度は、比較的薄い(400nm)電極、長い接合ワイヤ、および電極に終端がないこと、によるマイクロ波損失により制限される。そうだとすると、これはSAW周波数同調で可能なものより振幅が3桁以上速い。

【0078】図19は、図10に示す電極と同様の、三つの部分への電極分割を備えた装置に対する同調曲線を示す。実線の曲線201は、バイアスを印加しない場合の同調を示すが、非常に貧弱である。三つの部分に12.36、10.45、および1.49ボルトの電圧を加えて得られた破線の曲線203は、はるかに改善された応答を示している。点線の曲線205は、更に広い応答を与える意図的な

離調の一例である。この図はまた、電極の存在がSAWをそれほど減衰させないことをも示し、このことは、三つの電極の全てがフィルタ応答曲線の形状に影響し、SAWが装置の全長にわたって存在することを表していることを観察することによってわかる。

【0079】上記から、本発明により提供されるAOTFは、これまで達成されなかった多数の利点を提示することが認識されるであろう。このようなAOTFは、フィルタ応答の不必要なサイドローブを抑制し、非対称サイドローブを減少させ、温度および物理的な装置の不完全さを補償するために、構成され、バイアスされ得る。加えて、本発明を実施するAOTFは、慣用的なAOTFで達成することができるとも、振幅で数桁速い同調速度を備えている。本発明の原理を具体化するAOTFには、変調器としての他にフィルタとしての用途がある。本発明を実施する同調可能レーザは、他の同調可能レーザより速い同調応答、及び安定な性能を提示する。

【0080】本発明の幾つかの特定の実施例を説明し、例示してきたが、本発明はそのように説明し例示した、特定の形態、又は部品の配列に限定されるべきものではなく、各種の修正および変更を行なうことができる。従って、本発明の特許請求項の範囲内で、本明細書に特に説明し例示したもの以外で、本発明を実施することができる。

【0081】以下に、本発明の実施態様を列挙する。

【0082】1. 音響-光学同調可能フィルタにおいて、到来光ビームを受けるために適合される、複屈折音響-光学材料の基台と、電気信号に応答して基台に音波を誘導する変換器であって、音波は、基台を通して伝播し、音波の周波数により規定される光学的周波数帯域内の周波数を有する如何なる光の偏りモードをも変えるように、但し前記光学的周波数帯域外の周波数を有する如何なる光の偏りモードをも変えないように動作可能である、変換器と、音響-光学材料の複屈折を調節することにより、基台の光学的性質を制御する制御手段と、からなる音響-光学同調可能フィルタ。

【0083】2. 制御手段が、基台に隣接する複数の電極、及び電極と電氣的に連絡している電圧源からなり、電圧源は、電極を横断する電位を確立し、それにより基台を通して広がる電界を発生するように動作する、前項1に記載のフィルタ。

【0084】3. 電圧源は、基台の製造欠陥によるフィルタ性能の如何なる低下をも補償する電位を発生する手段からなる、前項2に記載のフィルタ。

【0085】4. 電圧源は、基台に及ぼす環境の影響によるフィルタ性能の如何なる低下をも補償する電位を発生する手段からなる、前項2に記載のフィルタ。

【0086】5. 電圧源は、同調信号にตอบสนองして、フィルタを所望の周波数帯域に同調させる電位を発生する手段からなる、前項2に記載のフィルタ。

【0087】6. 電圧源は、変調信号にตอบสนองして、基台を通して伝播する光を変調信号により担持される情報で変調する電位を発生する手段からなる、前項2に記載のフィルタ。

【0088】7. 光入力ビームが、入力偏光子、次に基台、及び次に出力偏光子を通過するように、基台の対向する末端に隣接して設置される、入力偏光子、及び出力偏光子から更になり、入力偏光子、及び出力偏光子は共に、第1のモードに偏光された光を通過させ、第2のモードに偏光された光を減衰させ、それにより、規定光学的周波数帯域外の周波数を有する光を通過させ、前記周波数帯域内の周波数を有する光を減衰させる、ノッチフィルタを規定する、前項2に記載のフィルタ。

【0089】8. 光入力ビームが、入力偏光子、次に基台、及び次に出力偏光子を通過するように、基台の対向する末端に隣接して設置される、入力偏光子、及び出力偏光子から更になり、入力偏光子は、第1のモードに偏光された光を通過させ、第2のモードに偏光された光を減衰させ、出力偏光子は、第2のモードに偏光された光を通過させ、第1のモードに偏光された光を減衰させ、それにより、規定光学的周波数帯域内の周波数を有する光を通過させ、前記周波数帯域外の周波数を有する光を減衰させる、帯域通過フィルタを規定する、前項2に記載のフィルタ。

【0090】9. 電極は、基台を通じて空間的に変化する電界を発生するように構成される、前項2に記載のフィルタ。

【0091】10. 電極の一つは、複数の副電極からなり、各副電極は、他の副電極とは異なる基台領域に隣接して設置されており、電圧源は、副電極の各種のものに異なる電位を印加するよう動作し、それにより、基台の異なる領域を通じて異なる強さの電界を発生する、前項9に記載のフィルタ。

【0092】11. 電極の一つは、抵抗性要素からなり、電圧源は、抵抗性要素を横断して電圧降下を確立して、電極間に空間的に変化する電位を発生するように動作し、それにより、基台を通じて空間的に変化する電界を発生する、前項9に記載のフィルタ。

【0093】12. 電極の一つは、電極の他のものから空間的に変化する間隔だけ離れて設置され、基台を通じて空間的に変化する電界を生成する、前項9に記載のフィルタ。

【0094】13. 基台は、結晶性基板、及び基板の表面に形成された光導波路からなり、電極は、導波路に隣接して設置される、前項2に記載のフィルタ。

【0095】14. 結晶性基板は、ニオブ酸リチウムからなり、導波路は、チタンの拡散により基板の表面に形成される、前項13に記載のフィルタ。

【0096】15. 導波路の第1の区画と導波路の第2の区画との間の中央部偏光子から更になり、各区画はフ

ィルタ段を規定する、前項13に記載のフィルタ。

【0097】16. 光入力ビームが、入力偏光子、次に基台、及び次に出力偏光子を通過するように、基台の対向する末端に隣接して設置される、入力偏光子、及び出力偏光子から更になり、中央部偏光子、及び出力偏光子は、第1のモードに偏光された光を通過させ、第2のモードに偏光された光を減衰させ、それにより、規定光学的周波数帯域外の周波数を有する光を通過させ、前記周波数帯域内の周波数を有する光を減衰させる、2段ノッチフィルタを規定する、前項15に記載のフィルタ。

【0098】17. 光入力ビームが、入力偏光子、次に基台、及び次に出力偏光子を通過するように、基台の対向する末端に隣接して設置される、入力偏光子、及び出力偏光子から更になり、中央部偏光子は、第1のモードに偏光された光を通過させ、第2のモードに偏光された光を減衰させ、入力偏光子、及び出力偏光子は各々、第2のモードに偏光された光を通過させ、第1のモードに偏光された光を減衰させ、それにより、規定光学的周波数帯域内の周波数を有する光を通過させ、前記周波数帯域外の周波数を有する光を減衰させる、2段帯域通過フィルタを規定する、前項15に記載のフィルタ。

【0099】18. 電圧源、及び電極は、導波路の第1の区画を横断して第1の電位を、導波路の第2の区画を横断して第2の電位を印加するように適応され、第1の電位は、規定光学的周波数帯域の一方の側のサイドローブを減衰するように適応され、第2の電位は、前記周波数帯域の他方の側のサイドローブを減衰するよう適応される、前項15に記載のフィルタ。

【0100】19. 電圧源、及び電極は、変調信号を受けるように適応され、変調信号にตอบสนองして、導波路の第1の区画を横断して第1の電位を、及び導波路の第2の区画を横断して第2の電位を発生し、第1、及び第2の電位は、フィルタを反対方向に離調させ、それにより、導波路を通して伝播する光を変調信号により担持される情報で変調するように働く、前項15に記載のフィルタ。

【0101】20. 電圧源、及び電極は、導波路の第1の区画を横断して第1の電位を、導波路の第2の区画を横断して第2の電位を印加するように適応され、第1の電位は、第1のフィルタ段を所望の光学的周波数帯域の方向に同調させるように適応され、第2の電位は、第2のフィルタ段を前記光学的周波数帯域の方向に同調させるように適応され、それにより、二つの段を同じ光学的周波数帯域に整列させる、前項15に記載のフィルタ。

【0102】21. 音響-光学同調可能フィルタを制御する方法において、電界を発生するステップと、音響-光学同調可能フィルタを横断して電界を印加するステップと、音響-光学同調可能フィルタの光学的性質を制御するために、電界強度を調節するステップと、を含む方法。

【0103】22. 電界強度を調節するステップは、音響-光学同調可能フィルタの温度を測定するステップと、測定した温度を使用して電界強度を変更し、測定温度の如何なる変化によるフィルタ性能の低下を補償するステップと、を含む前項21に記載の方法。

【0104】23. 電界強度を調節するステップは、音響-光学同調可能フィルタの複数の位置の各々で温度を測定するステップと、各位置で測定した温度を使用して、その位置に隣接する電界強度を変更し、測定温度の如何なる変化によるフィルタ性能の低下を補償するステップと、を含む前項21に記載の方法。

【0105】24. 光信号を増幅する光増幅器と、光増幅器に電力を供給する電源と、光導波路が形成される複屈折音響-光学材料の細長い基台と、増幅器から導波路の第1の末端まで、導波路の第2の末端から逆に増幅器まで、及び増幅器からレーザビーム出力まで、の光ビームに対する光路を規定する光ガイド手段、電気信号にตอบสนองして基台に音波を誘導する変換器であって、音波は、導波路を通して伝播し、音波および基台により規定される周波数を有する、如何なる光の偏光モードをも変更するように動作可能である、変換器と、電気信号を変換器に与える手段と、音響-光学材料の複屈折を調節することにより導波路の光学的性質を制御し、それによりレーザを同調させる制御手段と、からなる同調可能レーザ。

【0106】25. 制御手段は、電圧源、及び導波路に隣接する複数の電極からなり、電圧源は、電極を横断する電位を確立するよう動作し、それにより光導波路を通じて広がる電界を発生する、前項24に記載の同調可能レーザ。

【0107】26. 光増幅器と導波路の第1の末端との間の光路にあり、第1のモードで偏光された光を通過させ、第2のモードで偏光された光を減衰させる入力偏光子と、光増幅器と導波路の第2の末端との間の光路にあり、第2のモードで偏光された光を通過させ、第1のモードで偏光された光を減衰させる出力偏光子と、から更になる前項24に記載の同調可能レーザ。

【0108】27. 光増幅器と導波路の第1の末端との間の光路にあり、第1のモードで偏光された光を通過させ、第2のモードで偏光された光を減衰させる入力偏光子と、各区画がフィルタ段を形成する、導波路の第1の区画と導波路の第2の区画との間にあり、第2のモードで偏光された光を通過させ、第1のモードで偏光された光を減衰させる中央部偏光子と、光増幅器と導波路の第2の末端との間の光路にあり、第1のモードで偏光された光を通過させ、第2のモードで偏光された光を減衰させる出力偏光子と、から更になる前項25に記載の同調可能レーザ。

【0109】

【発明の効果】本発明は上述のように構成したので、本発明によるAOTFは、フィルタ応答の不必要なサイド

ローブを抑制し、非対称サイドローブを減少させ、温度および物理的な装置の不完全さを補償するために、構成され、バイアスされ得る。加えて、本発明によるAOTFは、慣用的なAOTFで達成することができるよりも、振幅で数桁速い同調速度を備えている。本発明の原理を具体化するAOTFには、変調器としての他にフィルタとしての用途がある。本発明を実施する同調可能レーザは、他の同調可能レーザより速い同調応答、及び安定な性能を提示する、といった効果がある。

10 【図面の簡単な説明】

【図1】理想的帯域通過フィルタの周波数応答を示す。

【図2】理想的ノッチフィルタの周波数応答を示す。

【図3】良品質の実現可能な帯域通過フィルタの周波数応答を示す。

【図4】従来技術による集積AOTFの概略図である。

【図5】従来技術のAOTFの周波数応答を示す。

【図6】本発明によるAOTFの概略図である。

【図7】図6の線7-7を通して取った断面図である。

20 【図8】図7のものに類似した断面図であるが、電極の代替構成を表す。

【図9】2段AOTFの概略図であり、その各段は、図6に示すAOTFに概ね類似である。

【図10】図6に示すものに類似しているが、導波路の一方の側に複数の副電極を備えているAOTFの概略図である。

【図11】図6に示すものに類似しているが、電極の一つとして抵抗性素子を備えているAOTFの概略図である。

30 【図12】図9に示すものに類似しているが、空間的に変化する電界をもたらす電極形状を備えている2段AOTFの概略図である。

【図13】図9に示すものに類似した、電圧源を制御するサミスタを含む2段AOTFの概略図である。

【図14】図6に示すものに類似しているが、電圧源が同調信号により制御されるAOTFの概略図である。

【図15】図6に示すものに類似しているが、電圧源が変調信号にตอบสนองして電界を変調するAOTFの概略図である。

40 【図16】本発明の原理を具体化する、電子的に同調可能な外部空洞レーザの部分概略図である。

【図17】図6に示すAOTFに類似したAOTFの応答を示す。

【図18】図17に表した周波数応答を有するAOTFの同調電圧に対してプロットしたピーク変換の周波数測定値を示す。

【図19】図10に表したAOTFに類似したAOTFの同調曲線を示す。

【符号の説明】

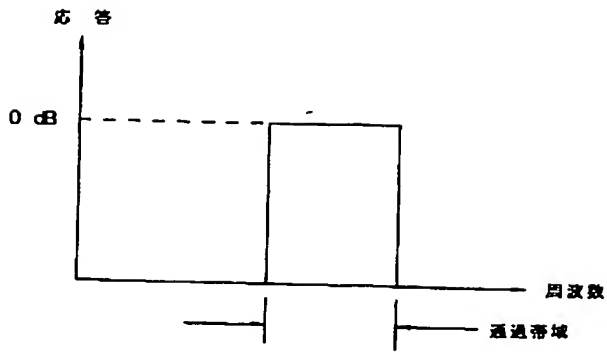
101 基台

50 103 第1の末端

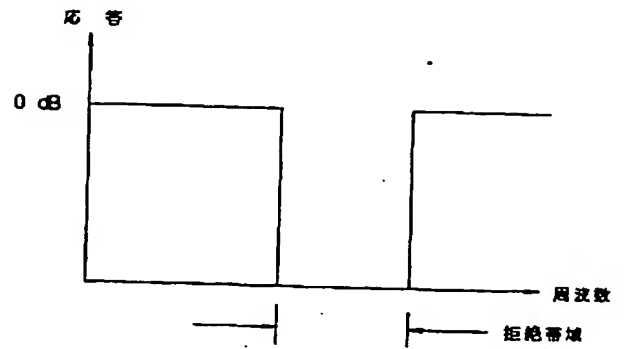
21
 105 光ファイバ
 107 光導波路
 109 第2の末端
 111 変換器
 115, 117 電極
 119 電圧源

22
 131 入力偏光子
 133 出力偏光子
 199, 211 サーマスタ
 183 抵抗性素子
 203, 213 制御可能電圧源
 237 光増幅器

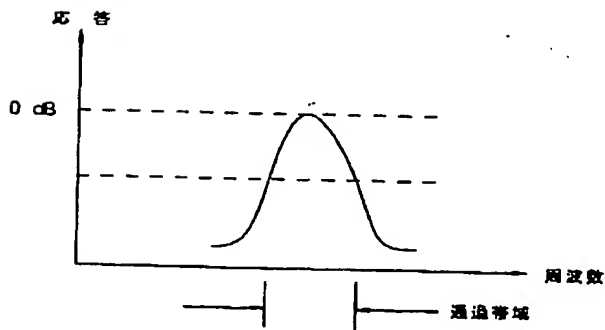
【図1】



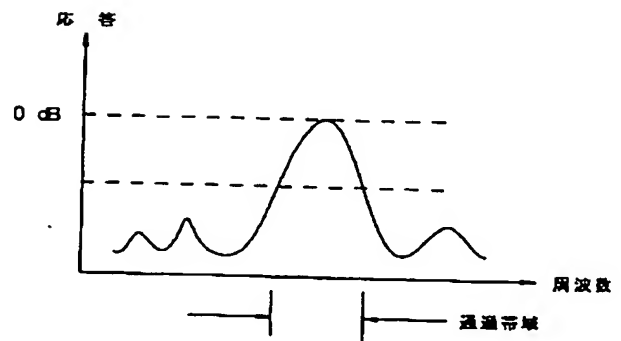
【図2】



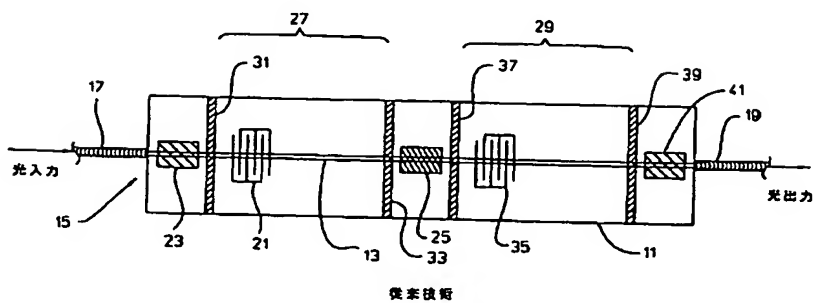
【図3】



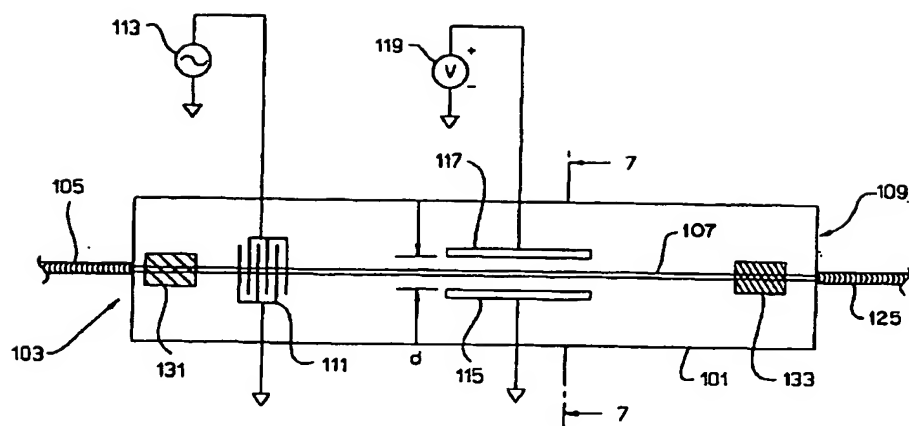
【図5】



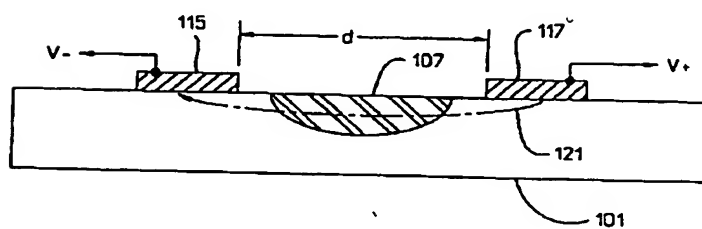
【図4】



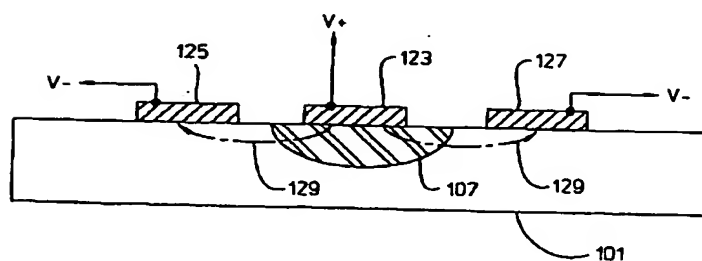
【図6】



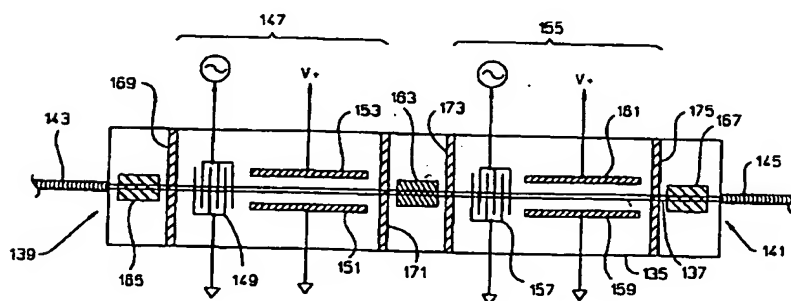
【図7】



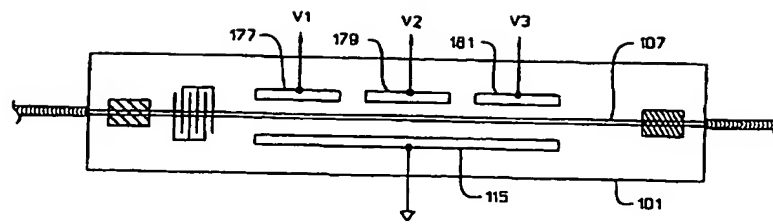
【図8】



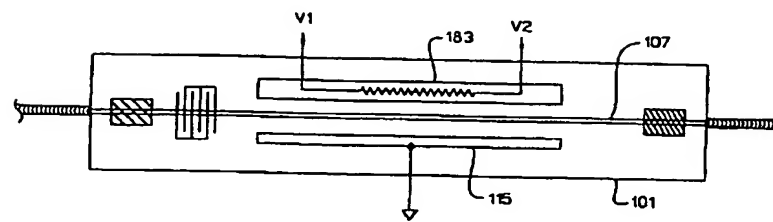
【図9】



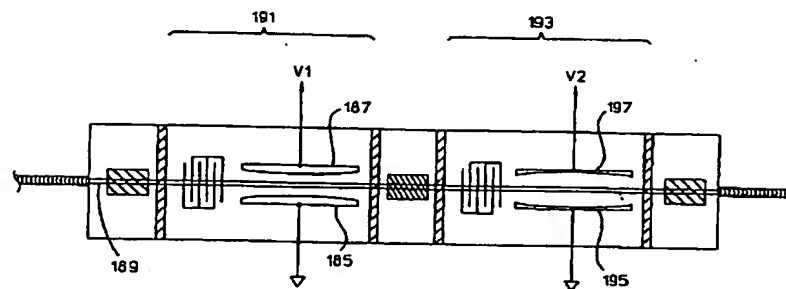
【図10】



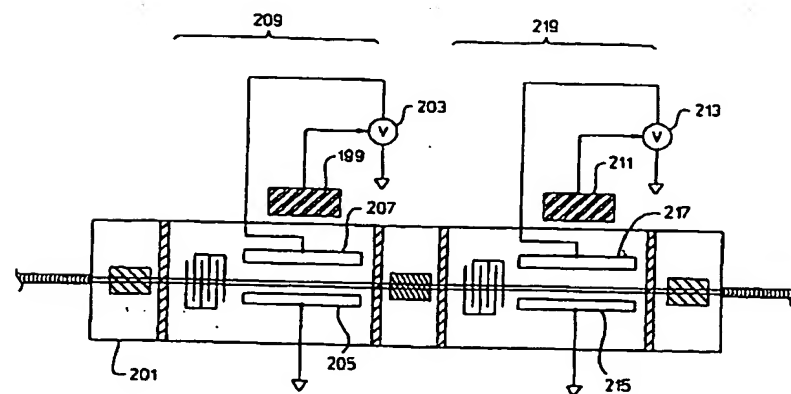
【図11】



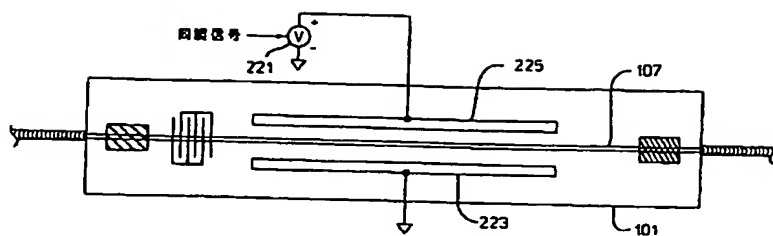
【図12】



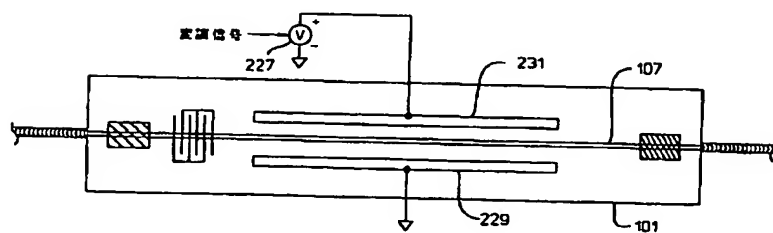
【図13】



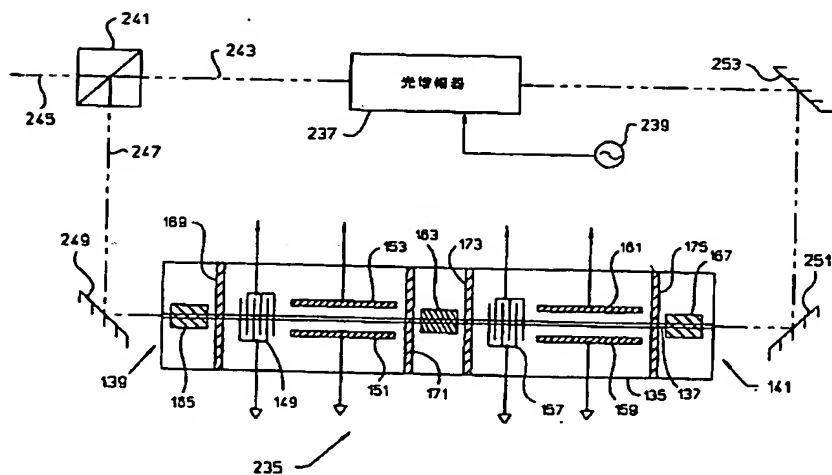
【图 14】



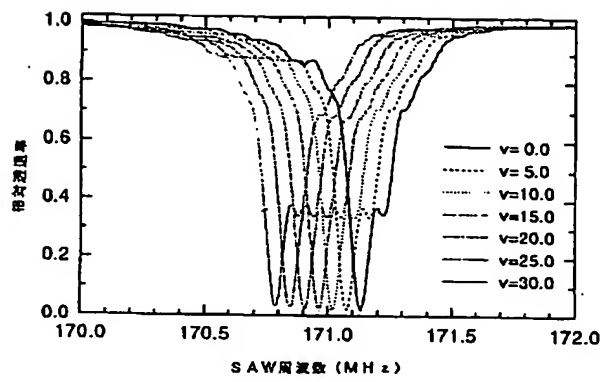
【図 15】



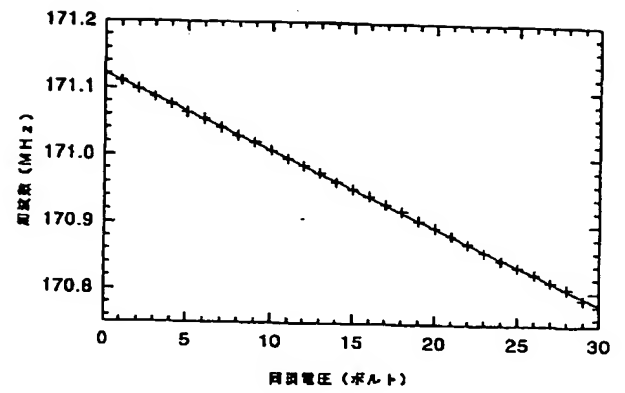
【图 16】



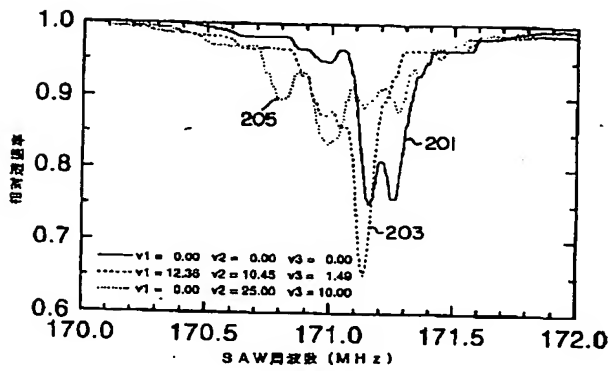
【図17】



【図18】



【図19】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.